

Оценка способов повышения надежности золотникового распределителя гидроударного устройства с задержкой движения бойка

Л. В. Городилов¹, В. Г. Кудрявцев¹*

¹ Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: gor@misd.ru

Аннотация. Рассмотрен золотниковый распределитель, позволяющего производить задержку движения бойка гидроударного устройства и таким образом поддерживать энергию удара на заданном уровне. Предложены схемы усовершенствования конструкции распределителя, направленные на повышение его надежности и предотвращения преждевременного срабатывания золотника вследствие воздействия гидроударных волн. Разработаны математические модели их движения, получены аналитические решения. Представлены оценки параметров схем, обеспечивающих удержание золотника в исходном положении.

Ключевые слова: золотниковый распределитель, гидроударное устройство, дроссель, гидроударная волна, надежность

Evaluation of ways to improve the reliability of the spool distributor of a hydrohammer with a delay in the movement of the striker

L. V. Gorodilov¹, V. G. Kudryavcev¹*

¹ Chinakal Institute of Mining SB RAS, 630091, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: gor@misd.ru

Abstract. A spool distributor is considered, which makes it possible to delay the movement of the striker of the hydraulic impact device and thus maintain the impact energy at a given level. Schemes for improving the design of the distributor are proposed, aimed at increasing its reliability and preventing premature operation of the spool due to the impact of water impact waves. Mathematical models of their motion have been developed, analytical solutions have been obtained. Estimates of the parameters of the circuits ensuring the retention of the spool in the initial position are presented.

Keywords: spool distributor, hydrohammer, nozzle, hydroimpact, reliability

Одной из тенденций современного развития гидроударной техники является разработка ударных устройств с регулированием энергии и частоты ударов, которые позволяют в зависимости от свойств обрабатываемой среды выбирать оптимальные значения этих характеристик. Для регулирования применяются различные конструктивные исполнения гидроударных устройств (ГУ) и схемы управления их рабочими циклами, что отражено в отечественных [1–5] и зарубежных [6–10] публикациях. Анализ современных источников по этой тематике представлен в [11].

Поэтому разработка и исследование новых систем распределения рабочей жидкости, распределителей гидроударных устройств является в настоящее

время актуальной научно-технической задачей. С нашей точки зрения перспективными схемами управления характеристиками рабочих циклов ГУ являются схемы с задержкой движения бойка в одной из фаз цикла, например, в начале (патент РФ № 2230189) или после окончания (патент РФ № 2495991) обратного хода бойка.

В патенте РФ № 2258161 представлена конструкция распределителя (рис. 1), позволяющего производить задержку движения бойка перед фазой его обратного хода и таким образом регулировать энергию удара. Распределитель состоит из ступенчатого золотника 1 и корпуса 2. Корпус образует с распределителем камеры А и А1, в исходном состоянии соединенные соответственно с каналом управления КУ и сливной линией СЛ. В корпусе также имеются каналы, соединяющие попеременно управляемую камеру прямого хода ударного узла В с напорной НЛ и сливной СЛ линиями. В начальный момент золотник под действием силы F находится в крайнем правом положении (как показано на рисунке). В канал управления КУ подается рабочая жидкость, откуда она поступает в камеру управления А. При превышении давлением в канале управления установленного значения p_3 (давления задержки) золотник сместится влево по чертежу и при достижении кромкой первой ступени золотника кромки корпуса камера А1 отсоединяется от сливной линии и соединяется с камерой А. Золотник ускоряется, смещается влево и занимает крайнее левое по рисунку положение, отсоединяет НЛ от камеры В прямого хода ударного узла и соединит с ней сливную линию СЛ. Начинается обратный ход бойка ударного узла.

Применение ступенчатого золотника позволяет обеспечить его надежное удержание в обеих позициях вне зависимости от изменения давления в системе в течение рабочего цикла и снизить необходимую для удержания в крайнем правом положении силу F . Так как действующая со стороны жидкости сила будет значительно больше значения, при котором началось движение золотника, то он будет надежно удерживаться в крайнем левом положении вплоть до соединения канала управления со сливной линией.

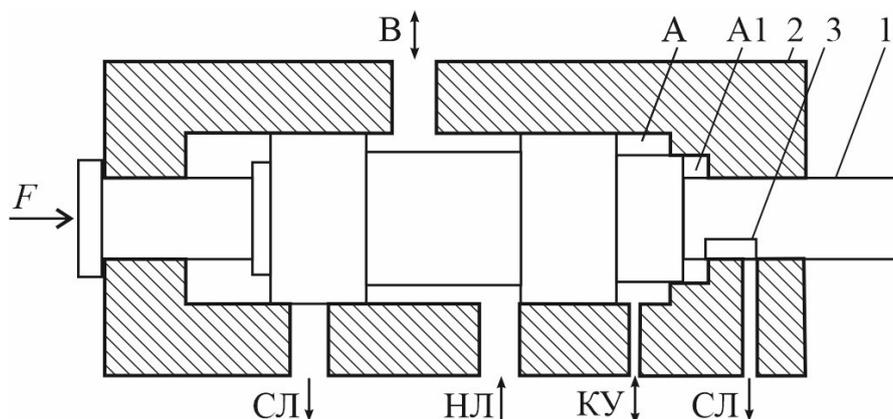


Рис. 1. Принципиальная схема золотникового распределителя:

НЛ, СЛ – соответственно напорная и сливная линии, В – камера прямого хода ударного узла, КУ – канал управления, А и А1 – гидравлические камеры, 1 – золотник, 2 – корпус, 3 – канал, соединяющий камеру А1 со сливной линией.

Проблема заключается в следующем. В конце рабочего цикла ГУ золотник возвращается в исходное положение, камера А оказывается связанной с каналом управления и с напорной линией. Почти сразу после этого происходит взаимодействие бойка с ограничителем, в гидросистеме ГУ генерируется гидроударная волна, которая передается в канал управления и в камеру А. Это может привести к преждевременному срабатыванию золотника до момента, когда давления в системе достигнет расчетного давления задержки p_3 . На рис. 2 представлены осциллограммы перемещений бойка и золотника ГУ, давлений в рабочих камерах при «сдвоенном» цикле, при котором давление в гидроударной волне после первого цикла оказывается достаточным для преждевременного срабатывания золотника, тогда как после второго цикла золотник остается на месте и давление в системе постепенно повышается до установленной величины p_3 . В табл. 1 представлены характеристики гидравлического импульса в первом и втором цикле, из которых следует, что увеличение амплитуды ударного импульса в $\sim 1,2$ приводит к преждевременному срабатыванию золотника несмотря на то, что давление в этот момент существенно меньше (в $\sim 1,3$ раза) давления задержки p_3 .

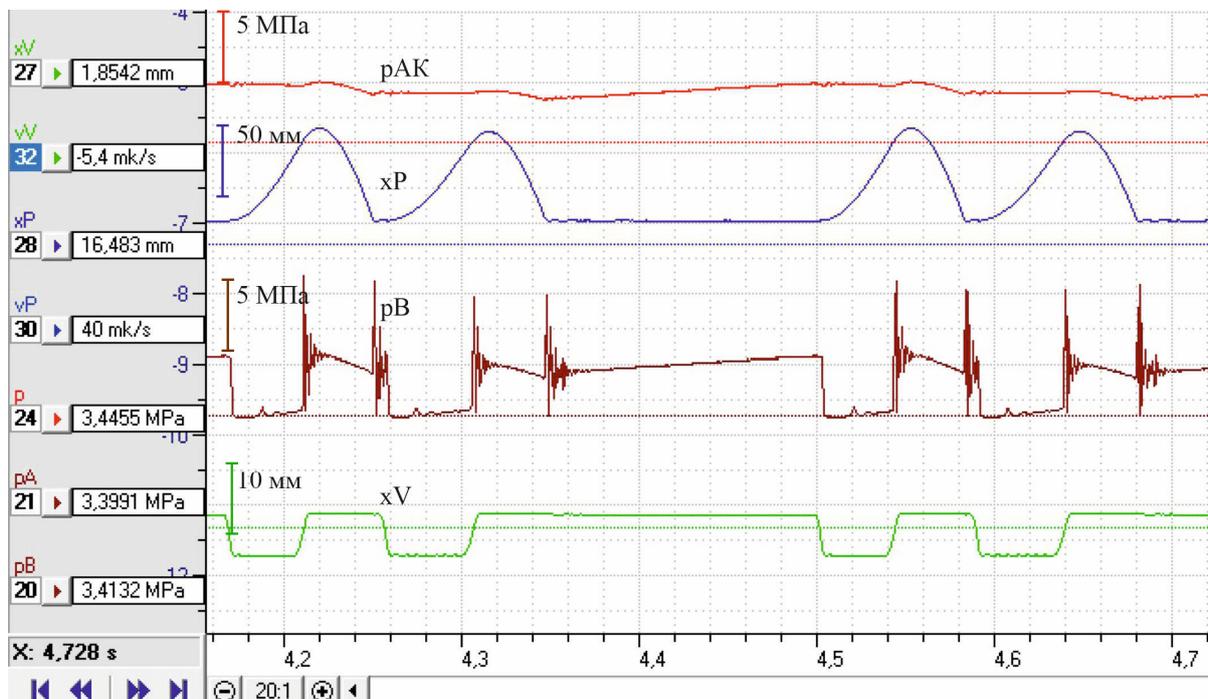


Рис. 2. Экспериментальные осциллограммы динамических характеристик рабочих циклов гидроударного устройства:

xV – координата золотника, xP – координата бойка, pAK и pB – давления в аккумуляторе и камере прямого хода бойка.

Здесь и далее гидроударная волна моделируется прямоугольным импульсом давления длительностью T и скачком давления:

$$\Delta p = p_1 - p_{10}, \quad (1)$$

где p_1 – абсолютное максимальное значение давления рабочей жидкости в гидроударной волне; p_{10} – абсолютное значение текущего давления рабочей жидкости в канале управления КУ перед импульсом давления.

Таблица 1

Характеристики гидроударных импульсов

№ цикла	Давление задержки p_3 , МПа	Давление перед гидравлическим импульсом p_{10} , МПа	Давление гидравлического импульса p_1 , МПа	Длина импульса T , мс
1	4,12	3,05	8,83	1,0
2	4,12	2,77	7,63	0,9

Применив теорему об изменении количества движения можно найти смещение золотника массой $m = 0,25$ кг и площадью $S_A = 1,07 \cdot 10^{-4}$ м² из начального положения после прохождения представленных в таблице импульсов давления: для первого цикла оно будет равно $\sim 1,01$ мм, для второго – $\sim 0,61$ мм.

В патенте РФ № 2321777 предложено несколько способов предотвращения этого эффекта и повышения надежности работы такого распределителя, реализуемого за счет гашения импульса давления гидроударной волны, поступающего в камеру управления КУ.

Один из них заключается в установке аккумулятора АК, соединенного каналом в корпусе с камерой управления. Предполагается, что подбором параметров аккумулятора можно снизить амплитуду давления гидроударной волны до значения, меньшего, чем необходимо для преодоления силы F , действующей на золотник в исходном положении и смещения его на расстояние, при котором соединяются камеры А и А1, тем самым повысить надежность распределителя.

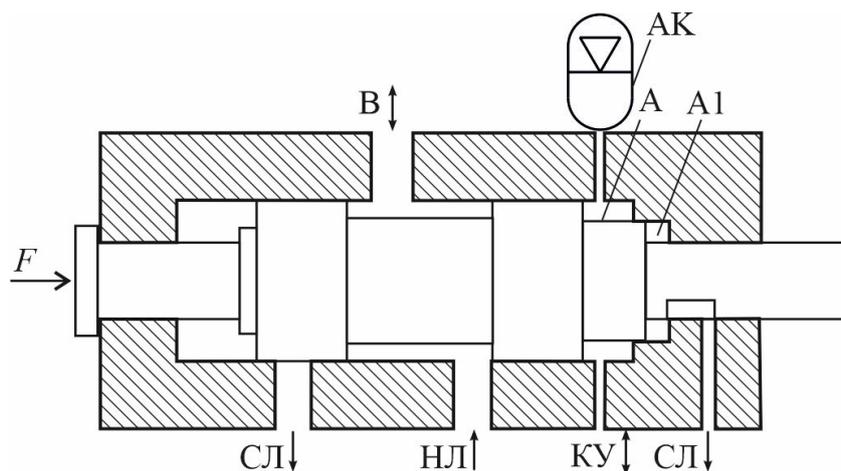


Рис. 3. Принципиальная схема золотникового распределителя:

НЛ, СЛ – соответственно напорная и сливная линии, В – камера прямого хода ударного узла, КУ – канал управления, АК – аккумулятор, А и А1 – гидравлические камеры, 1 – золотник, 2 – корпус, 3 – канал, соединяющий камеру А1 со сливной линией

Если во время цикла, когда золотник находится в исходном положении, давление p_A в камере управления имеет значение:

$$p_A = p_{10} < p_3, \quad (2)$$

и в гидроударном устройстве генерируется гидроударная волна, то она поступает в камеру управления в газожидкостный аккумулятор АК, линеаризованная емкость с которого имеет значение:

$$c = \frac{V_3}{n \cdot p_3}, \quad (3)$$

где V_3 – объем газа в аккумуляторе АК при давлении p_3 ; n – показатель политропы газа.

Так как выход из КУ в камеру А представляет собой местное гидравлическое сопротивление величиной r , при котором закон течения рабочей жидкости является квадратичным, то при поступлении гидроударной волны давление p_A в камере А будет иметь максимальное значение:

$$p_A = p - \left[\sqrt{p - p_{10}} - \frac{T}{2 \cdot c \cdot \sqrt{r}} \right]^2. \quad (4)$$

Чтобы максимальное давление p_A в камере управления не превысило величину p_3 , при выборе линеаризованной емкости с газожидкостного аккумулятора, следует выполнить условие:

$$c > \frac{T}{2 \cdot \sqrt{r} \cdot (\sqrt{p_1 - p_{10}} - \sqrt{p_1 - p_3})}. \quad (5)$$

Из этого условия с учетом формулы для емкости следует, что объем аккумулятора должен быть больше величины:

$$V_n > \frac{n \cdot p_3 \cdot T}{2 \cdot \sqrt{r} \cdot (\sqrt{p_1 - p_{10}} - \sqrt{p_1 - p_3})}. \quad (6)$$

Для импульса первой строки табл. 1, считая гидравлическое сопротивление типа «расширения потока» равным $r_1 = 5,29 \cdot 10^{10} \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^8$ получим объем требуемого аккумулятора $V_n > 0,07 \text{ л}$.

Еще один вариант предполагает установку в корпусе распределителя калиброванного дросселя 4 (рис. 4), через который ограниченное количество рабочей жидкости имеет доступ из канала управления в камеру управления. При генера-

ции гидроударной волны малой длительности при определенном значении давления в камере А может происходить смещение золотника из исходного положения влево по чертежу. Камера А соединена с каналом управления через дроссель, пропускная способность которого ограничена, поэтому скорость смещения золотника ограничена и, так как длительность гидроударной волны невелика, то давление в ней и в камере А снижается до величины, меньшей чем необходимо для преодоления силы F раньше, чем золотник достигнет положения, при котором соединятся камеры А и А1. Дальнейшее движение запорно-регулирующего элемента невозможно. Происходит его возвращение в исходное положение. Таким образом, подбор параметров калиброванного дросселя и золотника позволит предотвратить преждевременное перемещение последнего из исходного положения в крайнее правое по чертежу положение, тем самым повысить надежность распределителя.

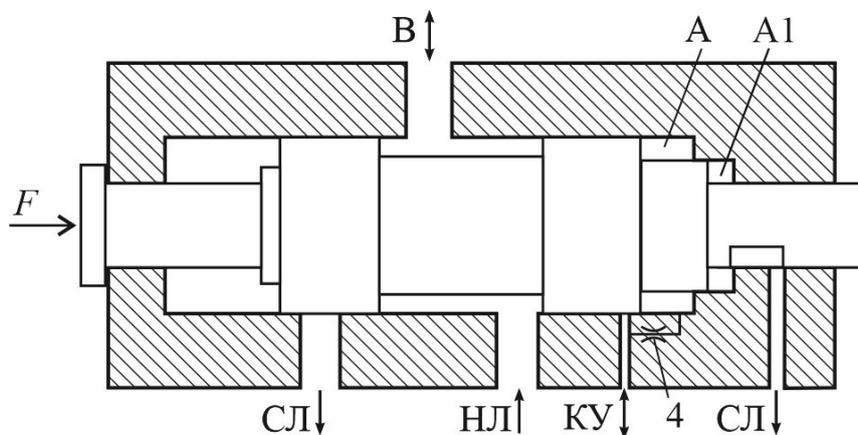


Рис. 4. Принципиальная схема золотникового распределителя:

НЛ, СЛ – соответственно напорная и сливная линии, В – камера прямого хода ударного узла, КУ – канал управления, АК – аккумулятор, А и А1 – гидравлические камеры, 4 – калиброванный дроссель.

Если во время цикла, когда золотник находится в исходном положении, давление p_A в камере управления имеет значение:

$$p_A = p_{10} < p_3, \quad (7)$$

и в гидроударном устройстве генерируется гидроударная волна, при которой:

$$p_A > p_3, \quad (8)$$

то запорно-регулирующий элемент начнет смещаться вправо по чертежу. Закон его движения можно описать формулой:

$$x = a_{21} \cdot \left[-\frac{1}{v_1^2} + \frac{1}{v_1} \cdot t + \frac{1}{v_1} \cdot e^{-v_1 \cdot t} \right] - a_{22} \cdot \left[-\frac{1}{v_1^2} \cdot h(t-T) + \frac{1}{v_1} \cdot (t-T) \cdot h(t-T) + \frac{1}{v_1^2} \cdot e^{-v_1 \cdot (t-T)} \right], \quad (9)$$

где x – смещение золотника из исходного положения при воздействии гидроударной волны; $h(t-T)$ – единичная функция Хэвисайда, которая равна 0 при $(t-T) < 0$ и 1 при $(t-T) \geq 0$; a_{21} , a_{22} , v_1 – коэффициенты равные:

$$a_{21} = \frac{S_A \cdot (p_1 - p_{10})}{m}, a_{22} = \frac{S_A \cdot p_1}{m}, v_1 = \frac{r_1 \cdot S_A^2}{m}, \quad (10)$$

где S_A и m – соответственно площадь поверхности и масса золотника; r_1 – гидравлическое сопротивление дросселя 4.

При параметрах импульса гидроударной волны первого цикла (см. табл. 1), $m = 0,25$ кг, $S_A = 1,1 \cdot 10^{-4}$ м², гидравлическом сопротивлении типа «кольцевой щели» $r_1 = 1,25 \cdot 10^{11}$ Н·с/м⁵ получим максимальное смещение золотника после прохождения ударного импульса $x_{max} = 0,21$ мм.

Заключение

Разработана конструкция золотникового распределителя гидроударных устройств, позволяющая поддерживать энергию удара на сравнительно постоянном уровне. Предложены способы повышения его надежности. Представлены формулы, дающие возможность подбирать параметры распределителя таким образом, чтобы максимальное значение смещения золотника из исходного положения при воздействии гидроударной волны не превышало величины, когда обе гидравлические камеры распределителя будут соединены с каналом управления.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта НИР (№ гос. регистрации 121052600390-5).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Городилов Л.В., Кудрявцев В.Г. Экспериментальное исследование гидроударной системы с задержкой движения бойка // *Машиноведение*. – 2016. – № 1(3). – С. 96–102.
2. Лазуткин С.Л., Лазуткина Н.А. Прогрессивная конструкция гидравлического ударного устройства // *Вестник пермского государственного технического университета. Машиностроение, материаловедение*. – 2011. – № 3. – С. 5–11.
3. Городилов Л.В. Распределитель гидравлического ударного устройства. Патент 2674289 РФ. 2018. Б.И. № 34 от 06.12.2018.
4. Фабричный Д.Ю., Толенгутова М.М., Фабричный Ю.Ф. Системы автоматического регулирования гидравлических ударных устройств по нагрузке на инструмент // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*. – 2013. – № 4. – С. 72–77.

5. Городилов Л.В. Исследование основных свойств гидроударной системы одностороннего действия с двумя ограничителями движения бойка // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2020. – № 6. – С. 105–115.
6. Ye X., Miao X., Cen Y. Modeling and simulation for hydraulic breaker based on screw-in cartridge valves // Appl. Mech. Mater. 2012. Vol. 229–231. P. 1697–1701.
7. Ding W.S., Wang J.J., Chen L.N. Electronic control hydraulic impactor based on pressure feedback // 2010 Int. Conf. Mech. Autom. Control Eng. MACE2010. 2010. № 50775075. P. 2716–2719.
8. Yang G. et al. Research on intelligent hydraulic impactor // Proc. 3rd Int. Conf. Meas. Technol. Mechatronics Autom. ICMTMA 2011. 2011. Vol. 3. P. 3–6.
9. Yang G., Liang C. Research on the new hydraulic impactor control system // 2010 Int. Conf. Meas. Technol. Mechatronics Autom. ICMTMA 2010. 2010. Vol. 3. P. 207–210.
10. Zhao H. et al. Simulation and optimization of a new hydraulic impactor // Appl. Mech. Mater. 2012. Vol. 120. P. 3–10.
11. Городилов Л.В., Кудрявцев В.Г. Анализ способов и схем управления характеристиками гидроударных машин объемного типа // ФТПРПИ. – 2022. – № 1. С. 1–15.

© Л. В. Городилов, В. Г. Кудрявцев, 2022